



Proyección de consumo de agua en la minería del cobre 2019-2030

DEPP 23/2019

Resumen Ejecutivo

La proyección del consumo de agua en la minería se basa en aplicar a la proyección de producción de cobre de Cochilco, los respectivos coeficientes unitarios de consumo de agua para obtener la demanda futura de un determinado periodo. Además, se determina el consumo según fuente de origen en base a las distintas categorías de los proyectos, incluyendo los proyectos de desalinización e impulsión que existen en cartera.

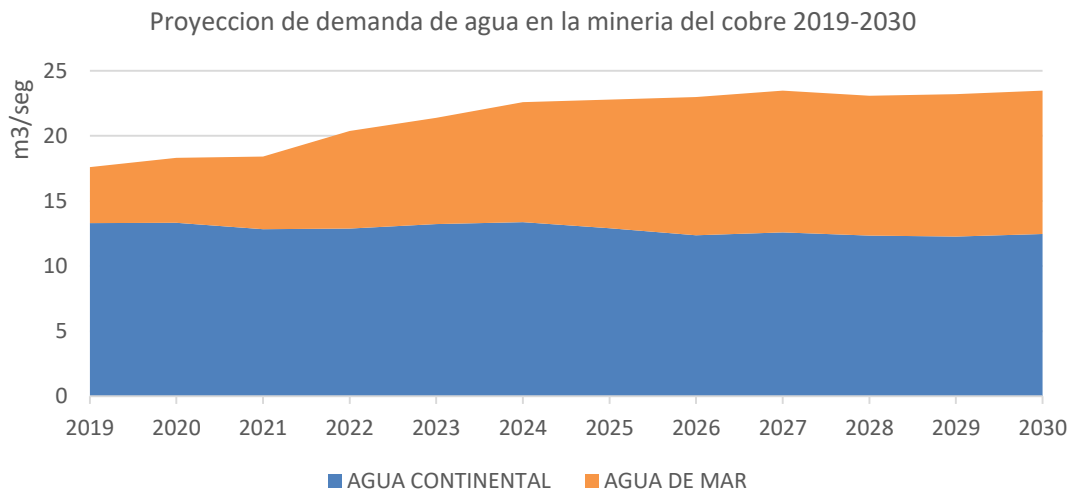
La metodología para la realización del estudio se basa en los consumos unitarios de cada faena en cada proceso; los perfiles de producción máxima determinados a través del catastro de inversiones mineras, y la probabilidad de materialización de tal cartera en virtud de los antecedentes históricos.

La proyección de producción es el pilar que soporta a la proyección de consumo de agua, ya que determina el mineral procesado en concentrados y la producción de fino en concentrados junto con la producción de cobre fino en cátodos SxEw del 2019 al 2030.

Este estudio busca calcular la proyección de demanda de agua continental y de mar por parte de la industria minera del cobre, y realizar un análisis detallado, considerando una visión por región, proceso, estado de avance, condición y estado de los permisos ambientales.

Para el 2030 se espera que el consumo de agua a nivel nacional sea de 23,5 m³/seg, con una tasa de crecimiento promedio anual de 2,7%. De manera general, la estimación de consumo de agua de origen continental esperada al 2030 alcanza los 12,5 m³/s, lo que representa una disminución de un 6% respecto al consumo esperado para el 2019.

En el caso del agua de mar la situación es diferente al del agua continental, en la medida que el consumo de agua continental mantiene una tasa de crecimiento anual promedio cercana a un -0,6%, el agua de mar observa un crecimiento con una tasa promedio del 9,3% anual, alcanzando los 11 m³/s al 2030.



Cabe destacar el cambio de la matriz de producción, que en los próximos años se vuelca a los minerales de sulfuros, que deben ser procesados a través de flotación, proceso que es más intensivo en el uso de agua.



Índice

Introducción	1
Capítulo 1 Metodología	3
1.1 Proyección de producción	3
1.2 Coeficientes unitarios	4
1.3 Generación de escenarios	4
1.4 Cálculo del valor esperado.....	7
Capítulo 2 Valor esperado del consumo de agua al 2030	9
2.1 Consumo a nivel nacional	10
2.2 Consumo de agua según origen.....	11
2.3 Consumo de agua por región.....	13
2.4 Consumo de agua según tipo de proceso.....	15
2.5 Consumo de agua según condición de proyectos	18
2.6 Consumo de agua según etapa de desarrollo	20
2.7 Consumo de agua según estado de los permisos ambientales	22
Capítulo 3 Comentarios finales	25
Anexos	27
Anexo 1 Condiciones de materialización de un proyecto	27
Anexo 2 Etapas de desarrollo de un proyecto	27
Anexo 3 Tabla consumo esperado total.....	28
Anexo 4 Tabla consumo esperado según fuente de origen	28
Anexo 5 Tabla consumo esperado por región.....	28
Anexo 6 Tabla consumo esperado según tipo de proceso.....	29
Anexo 7 Tabla consumo esperado según condición	30
Anexo 8 Tabla consumo esperado según etapa de desarrollo	30
Anexo 9 Tabla consumo esperado según estado de los permisos ambientales	31



Índice de figuras

Figura 1: Escenarios de consumo de agua, periodo 2018-2030.....	7
Figura 2: Producción cobre mina 2018 y proyección período 2019-2030	9
Figura 3: Producción de cobre 2018 y proyección esperada periodo 2019-2030, según producto	10
Figura 4: Proyección de consumo de agua total en la minería del cobre periodo 2018-2030 (m3/seg)	10
Figura 5: Proyección de consumo de agua total en la minería del cobre periodo 2019-2030, según origen11	
Figura 6: Distribución porcentual del consumo de agua en la minería del cobre según origen, periodo 2019-2030	12
Figura 7: Proyección de consumo de agua en la minería del cobre por región, periodo 2019-2030	13
Figura 8: Diagrama general de procesos de la minería del cobre	15
Figura 9: Consumo de agua en la minería del cobre según tipo de proceso, periodo 2019-2030.....	16
Figura 10: Consumo de agua en la minería del cobre según condición de proyectos, período 2018-2030 .	18
Figura 11: Consumo de agua en la minería del cobre según etapa de desarrollo, periodo 2019-2030	20
Figura 12: Consumo de agua en la minería del cobre según estado de los permisos ambientales, periodo 2019-2030	22

Índice de tablas

Tabla 1: Escenarios de materialización de proyectos	6
Tabla 2: Proyección de consumo de agua esperada periodo 2019-2029 en la minería del cobre.....	11



Introducción

En Chile las principales operaciones mineras se encuentran primordialmente desde la región Metropolitana al norte, precisamente la zona que presenta las situaciones de estrés hídrico más extremas. Es por ello que el agua es un recurso fundamental para el desarrollo, y se hace necesario establecer su debida extracción y uso en toda la nación de manera sustentable, para evitar así que la escasez del recurso hídrico pueda inhibir el desarrollo del país.

Es en este contexto que este informe busca aportar, desde una mirada técnica, un antecedente útil para la planificación y toma de decisiones de las empresas consumidoras de agua, y de las autoridades públicas sectoriales.

Esta información constituye una señal para el mercado hídrico sobre el potencial de consumo que tiene uno de los sectores de más alto crecimiento e importancia económica para el país, como es la minería.

Las proyecciones de uso futuro se han realizado sobre supuestos que podrían denominarse inciertos, dado que la producción está sujeta a las decisiones de las empresas respecto a la viabilidad de los proyectos.

Se ha limitado el alcance de la proyección al consumo de agua de la minería del cobre existente entre las regiones de mayor presencia minera, es decir, entre Arica y Parinacota y O'Higgins, en un rango de tiempo entre los años 2019 al 2030.

El detalle de los resultados se entrega a nivel nacional, por región, según tipo de proceso para el tratamiento del mineral, según condición de los distintos proyectos u operaciones, por etapa de desarrollo y según el estado de avance de los permisos ambientales.



Capítulo 1: Metodología



Capítulo 1 Metodología

La metodología para estimar la proyección de consumo de agua en la minería del cobre en Chile para los próximos años conlleva la ejecución de cuatro etapas. (i) Actualización de la proyección de producción de cobre tanto en concentrados como en cobre fino en el período de tiempo de estudio, (ii) determinación del consumo unitario de agua por proceso y empresa minera, (iii) determinación de la probabilidad de ocurrencia de la proyección de producción, diferenciando un escenario máximo, más probable y mínimo, y (iv) con lo anterior, modelación de la proyección de consumo de agua esperado para el período determinado.

En primer lugar la proyección de producción, para esta etapa se utilizó el catastro de proyectos que elabora COCHILCO año a año con la información actualizada de las operaciones y nuevos proyectos al 2030, con lo que se estima la proyección de producción, tanto en concentrados como en cátodos SxEw y en fundición y refinería.

En segundo lugar se conocen los consumos unitarios de agua fresca de la industria minera del cobre, gracias a la encuesta realizada por COCHILCO anualmente directamente a las empresas. Con esta información se obtienen los coeficientes unitarios de consumo de agua continental por tonelada de mineral tratado para el caso de los concentrados, el consumo de agua continental por tonelada de cobre fino producido en el caso de los cátodos, consumo de agua continental utilizada en el área mina por tonelada de cobre fino producido, el consumo unitarios en fundición y refinería y en el ítem otros.

En tercer lugar en base a la información histórica sobre la materialización de los proyectos de inversión se determina la probabilidad de ocurrencia de producción prevista en las fechas presentadas, con lo que se crean tres escenarios de consumo de agua.

Finalmente estos escenarios se someten a un modelo a través de funciones de probabilidad y generación de escenarios de manera aleatoria.

1.1 Proyección de producción

Las operaciones vigentes y los proyectos de minería del cobre, incluida la producción de cobre de la minería de hierro y oro con cobre como coproducto, suministran el vector de producción para la proyección de demanda de agua, continental y de mar, en la minería del cobre.

La proyección de producción es el pilar que da soporte a la proyección de consumo de agua, ya que determina el mineral procesado en concentrados y la producción de fino en concentrados junto con la producción de cobre fino en cátodos SxEw del 2019 al 2030.



1.2 Coeficientes unitarios

El consumo unitario de agua continental se refiere a la cantidad de agua utilizada para procesar u obtener una unidad de materia prima o de producto. La tasa de consumo unitario es expresada en metros cúbicos de agua continental por cada tonelada.

En base a la información anual entregada por las distintas faenas productoras de cobre, se obtienen los consumos unitarios para las dos vías principales de procesamiento de mineral, a partir de las toneladas procesadas en el caso de las concentradoras y de cátodos electro-obtenidos en el caso de las plantas de hidrometalurgia.

Para establecer los coeficientes de las operaciones y proyectos se utilizaron los siguientes criterios:

- Para las faenas en operación se utiliza el coeficiente de consumo de agua continental reportado al 2018.
- Para proyectos de expansión se utiliza el mismo coeficiente que la operación madre u operaciones de análogas características.
- Para efectos de la proyección estos coeficientes se mantienen constantes.
- Para los nuevos proyectos se consideran coeficientes unitarios de operaciones similares, o el promedio de la industria.
- En el caso de agua de mar se establecen coeficientes similares a los de las operaciones actuales con agua de origen marino.
- Para los proyectos que tienen asociado el uso de agua de mar se rigen en base a las capacidades de las plantas y sistemas de impulsión.

1.3 Generación de escenarios

Dada la incertidumbre intrínseca de las operaciones mineras y de sus proyectos de inversión, se estima la probabilidad de que éstos alcancen su capacidad nominal esperada en las fechas tentativas.

Dado lo anterior, se construyen tres distintos escenarios, uno mínimo, en el cual se proponen condiciones para que se posterguen las decisiones de inversión de los proyectos y la producción se mantenga sin cambios. Otro escenario más probable, construido en base a la información histórica que cuenta COCHILCO, que reflejan la producción real versus la estimada desde el año 2005 y finalmente, un escenario máximo, en el cual las faenas y los proyectos alcanzan sus producciones estimadas en los plazos declarados.

- **Escenario de producción máxima:** considera que las operaciones continúan según lo planificado y todos los proyectos se ponen en marcha en la fecha y capacidad productiva estimada actualmente por sus titulares. Es, por cierto, un escenario optimista.



- **Escenario de producción más probable:** pondera los perfiles de producción de cobre esperado y reportado por las firmas mineras con valores menores a la unidad, ya que existe una alta probabilidad de que los proyectos sufran variaciones y no se lleven a cabo en la fecha y capacidad productiva estimada inicialmente. Esta ponderación ha sido determinada por Cochilco en base a información histórica del comportamiento de la materialización de proyectos mineros, obtenida de los catastros de proyectos históricos publicados por Cochilco.
- **Escenario de producción mínima:** que ajusta el escenario más probable con cifras inferiores dentro de un criterio técnico razonable. Es, entonces, un escenario pesimista.

El valor del consumo de agua para un año t se calcula como se muestra en la ecuación (1):

$$\text{Consumo_Agua}_t = \sum_i E[f(X_{ijkt}; Y_{ijkt}; Z_{ijkt})] \quad (1)$$

Donde,

- i : Faena minera considerada.
- j : Tipo de producto final considerado.
- K : Condición/estado del proyecto minero considerado¹.
- t : Año considerado en el periodo de proyección.
- f : Distribución de probabilidad que describe el rango de valores que puede tomar el consumo de electricidad y la probabilidad asignada a cada valor de acuerdo a las variables de entrada.
- Z_{ijkt} : Corresponde a la producción máxima de cobre fino en la faena i , en el proceso j , de acuerdo a la condición/estado k del proyecto, en el año t . La unidad de medida es ktpa.
- Y_{ijkt} : Corresponde a la producción más probable de cobre fino en la faena i , en el proceso j , de acuerdo a la condición/estado k del proyecto, en el año t . La unidad de medida es ktpa.
- X_{ijkt} : Corresponde a la producción mínima de cobre fino en la faena i , en el proceso j , de acuerdo a la condición/estado k del proyecto, en el año t . La unidad de medida es ktpa.

Por otra parte, con respecto al ponderador para la capacidad de la operación o proyecto, éste depende del estado y condición del proyecto y del escenario que se estaba generando. En la tabla 1 se presentan los vectores de probabilidades utilizados según el escenario, estado y condición del proyecto. Los vectores fueron calculados en base a información histórica de los proyectos, obtenida

¹ Las condiciones/estados de los proyectos que se establecen en el presente informe son: Base, Probable, Posible-factibilidad, Potencial-factibilidad y Potencial-prefactibilidad.



de los catastros de proyectos históricos publicados por COCHILCO. Cabe señalar que para el caso de los proyectos el año 1 corresponde al año de puesta en marcha previsto en el catastro de proyectos de COCHILCO 2019.

Tabla 1: Escenarios de materialización de proyectos

Escenario Mínimo														
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14
Potencial Prefactibilidad	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
Potencial Factibilidad	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
Posible Factibilidad	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
Probable	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
Base	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84

Escenario Más Probable														
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14
Potencial Prefactibilidad	0,16	0,28	0,32	0,37	0,42	0,45	0,49	0,55	0,69	0,70	0,72	0,80	0,81	0,83
Potencial Factibilidad	0,32	0,37	0,42	0,45	0,49	0,55	0,69	0,70	0,72	0,80	0,81	0,83	0,84	0,84
Posible Factibilidad	0,49	0,55	0,69	0,70	0,72	0,80	0,81	0,83	0,84	0,84	0,85	0,88	0,92	0,92
Probable	0,72	0,80	0,81	0,83	0,84	0,84	0,85	0,88	0,92	0,92	0,92	0,93	0,93	0,93
Base	0,84	0,85	0,88	0,92	0,92	0,92	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93

Escenario Máximo														
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14
Potencial Prefactibilidad	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Potencial Factibilidad	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Posible Factibilidad	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Probable	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Base	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Para el caso del escenario más probable la información lleva de manera implícita que un proyecto potencial en prefactibilidad tarda dos años en pasar a factibilidad, luego dos años a la categoría posible, luego otros tres años hasta probable y dos años de probable a base.

Para el caso del escenario mínimo, se consideró un mayor retraso en las decisiones de inversión para los proyectos en las categorías posibles y potencial, lo que si bien no elimina los proyectos, los deja con una menor probabilidad de materialización.

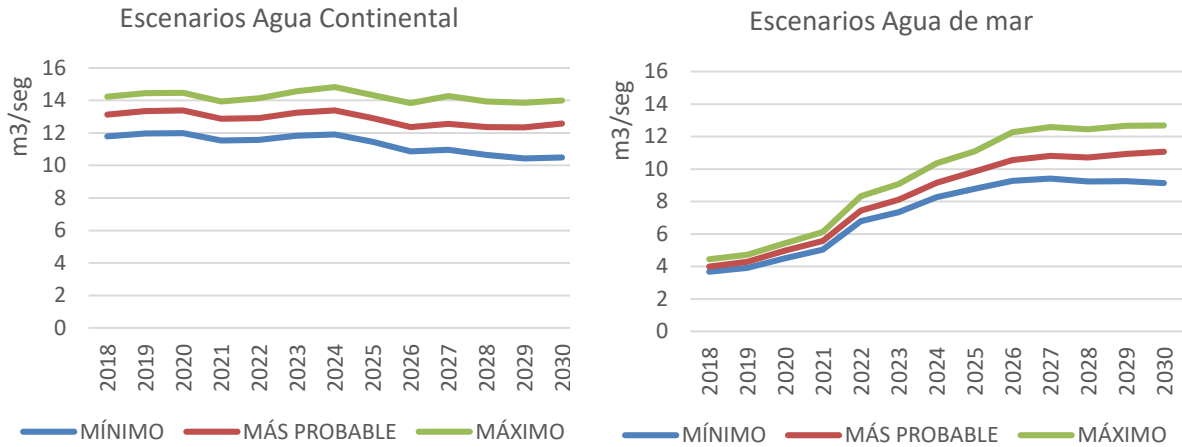


1.4 Cálculo del valor esperado

A partir de la generación de escenarios se obtiene tres valores de consumo anual del proceso individualizado, uno por cada escenario, los que se someten a la simulación Montecarlo con el fin de generar una distribución probabilística de su consumo anual, a la cual se le calcula el estadístico valor esperado. Los valores esperados de cada una de las distribuciones obtenidas se sumaron para obtener el consumo esperado de agua.

Estos escenarios corresponden a los input de la simulación de Montecarlo, la cual la como resultado el vector de valor esperado.

Figura 1: Escenarios de consumo de agua, periodo 2018-2030



Fuente: Elaboración Cochilco



Capítulo 2:

Valor esperado del consumo de agua al 2030

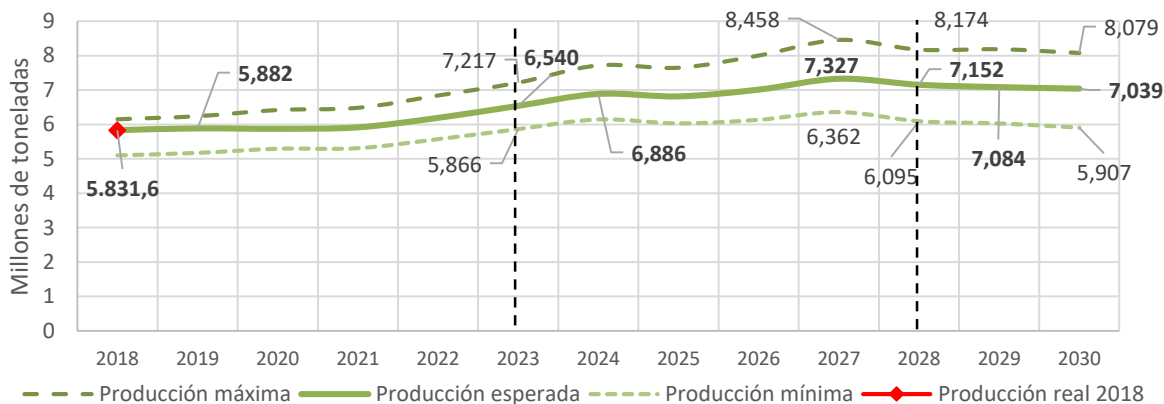


Capítulo 2 Valor esperado del consumo de agua al 2030

A continuación se muestran los resultados obtenidos de la simulación según la metodología descrita previamente. Estos resultados se muestran a nivel nacional, respecto a su origen, según región, por proceso, por condición de proyecto, por etapa de desarrollo y por el estado de los permisos ambientales.

Para contextualizar las proyecciones de demanda de agua por parte de la minería del cobre es necesario comprender, en primer lugar, el comportamiento de la producción esperada de cobre. La proyección de producción esperada de cobre para los próximos diez años, basada en la condicionalidad de materialización de los proyectos incluidos en la cartera de inversiones 2019 muestra una tendencia al alza con algunos *peaks*. (Figura 2)

Figura 2: Producción cobre mina 2018 y proyección período 2019-2030



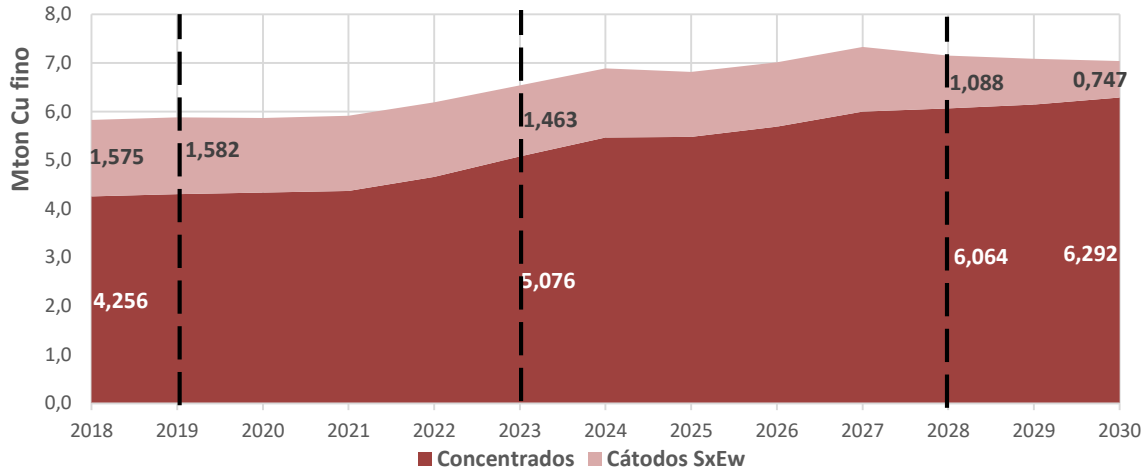
Fuente: Elaboración Cochilco

Los resultados obtenidos sobre la proyección de producción esperada de cobre para los próximos diez años, basada en el desenvolvimiento futuro de las operaciones actuales como también en la condicionalidad de materialización de los proyectos mineros, muestra un incremento de 20,7% hacia el 2030, respecto a la producción real de 2018. Esto quiere decir que nuestro país alcanzaría una producción de cobre de 7,04 millones de toneladas al año 2030, una tasa de crecimiento promedio de 1,6%, con un *peak* en el año 2027 de 7,33 millones de toneladas, a una tasa de crecimiento con respecto a 2018 de 2,4%.

Con respecto a la matriz productiva futura, se espera que la producción hidrometalúrgica esperada disminuya un 52,6% hacia el 2030 con respecto a la producción del año 2018, mientras que la producción esperada de cobre fino contenida en concentrados aumentaría desde las 4,3 millones de toneladas de cobre fino en 2018 hasta 6,3 millones de toneladas de cobre fino en concentrados en 2030, un aumento de un 47,8%. (Figura 3)



Figura 3: Producción de cobre 2018 y proyección esperada periodo 2019-2030, según producto

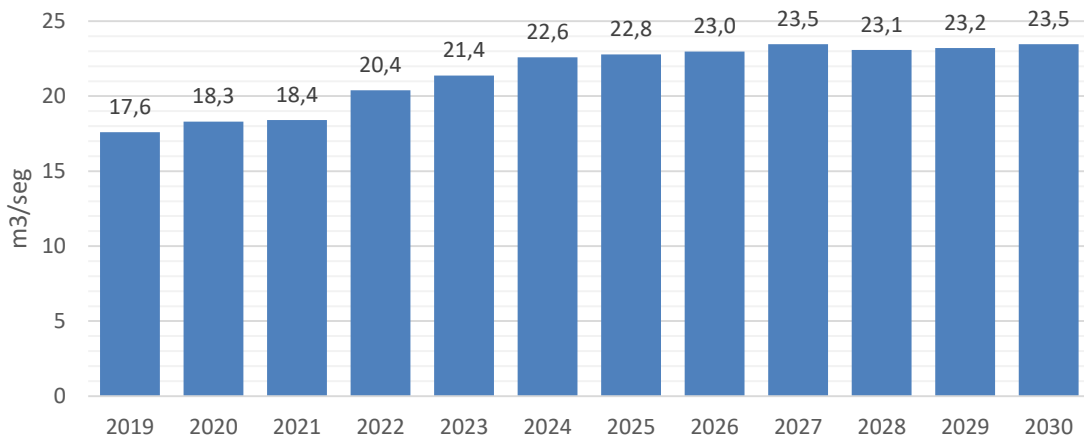


Fuente: Elaboración Cochilco

2.1 Consumo a nivel nacional

Para el 2030 se espera que el consumo de agua a nivel nacional sea de 23,5 m³/seg, con una tasa de crecimiento promedio anual de 2,7%. Esto es reflejo, en parte, del cambio de la matriz de producción, que se vuelca a los minerales de sulfuros, que a su vez deben ser procesados a través de flotación, proceso mucho más intensivo en el uso de agua. Por otra parte la caída en las leyes de los minerales hace necesaria una mayor cantidad de agua para obtener una tonelada de cobre fino, ya que es necesario procesar una mayor cantidad de mineral. De este modo la proyección esperada de consumo de agua para los próximos años se detalla en la figura 4.

Figura 4: Proyección de consumo de agua total en la minería del cobre periodo 2018-2030 (m3/seg)



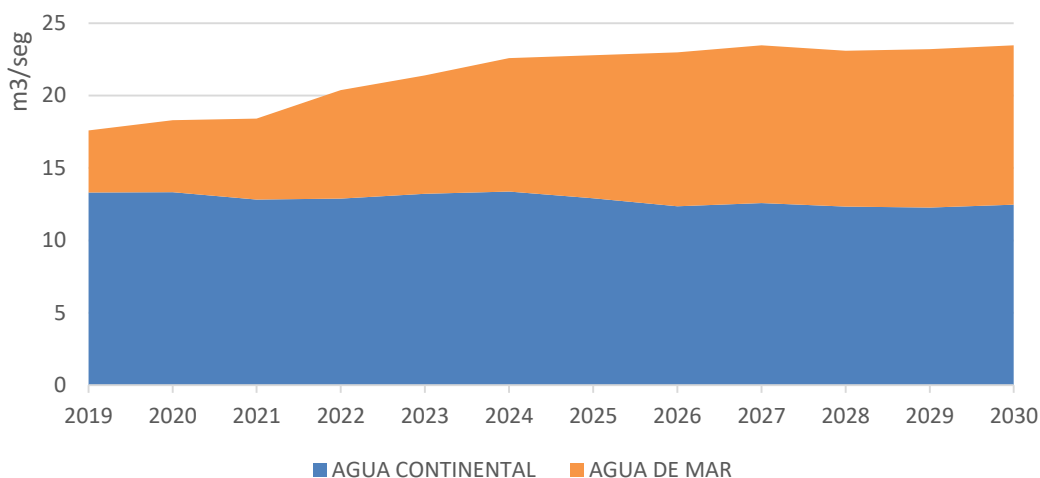
Fuente: Elaboración Cochilco



2.2 Consumo de agua según origen

En primer lugar, la extracción de agua continental se refiere a las extracciones provenientes de aguas superficiales como aguas lluvias, escorrentías, embalses superficiales, lagos, ríos y aguas subterráneas, como las aguas alumbradas y acuíferos, y aguas adquiridas a terceros. En segundo lugar, el agua de mar se refiere a aquellas provenientes del mar, ya sean desalinizadas o utilizadas directamente en el proceso.

Figura 5: Proyección de consumo de agua total en la minería del cobre periodo 2019-2030, según origen



Fuente: Elaboración Cochilco

Tabla 2: Proyección de consumo de agua esperada periodo 2019-2029 en la minería del cobre

(m³/seg)	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Agua Continental	13,3	13,3	12,8	12,9	13,2	13,4	12,9	12,4	12,6	12,3	12,3	12,5
Agua de Mar	4,3	5,0	5,6	7,5	8,2	9,2	9,9	10,6	10,9	10,7	10,9	11,0
TOTAL	17,6	18,3	18,4	20,4	21,4	22,6	22,8	23,0	23,5	23,1	23,2	23,5

Fuente: Elaboración Cochilco

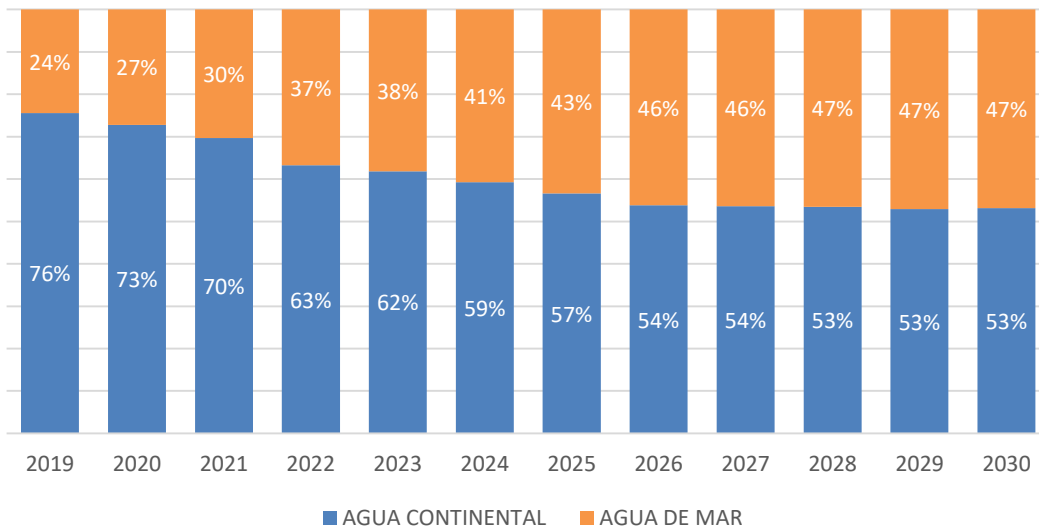


El agua de origen continental es un recurso escaso, que no solo es considerado una limitante hidrológica, también se trata, cada vez en mayor grado, de un problema económico que podría restringir el desarrollo de la gran mayoría de las actividades industriales.

De manera general, la estimación de consumo de agua de origen continental esperada al 2030 alcanza los 12,5 m³/s, lo que representa una disminución de un 6% respecto al consumo esperado para el 2019.

En el caso del agua de mar la situación es diferente al del agua continental, en la medida que el consumo de agua continental mantiene una tasa de crecimiento anual promedio cercana a un -0,6%, el agua de mar observa un crecimiento con una tasa promedio del 9,3% anual, alcanzando los 11 m³/s al 2030.

Figura 6: Distribución porcentual del consumo de agua en la minería del cobre según origen, periodo 2019-2030



Fuente: Elaboración Cochilco

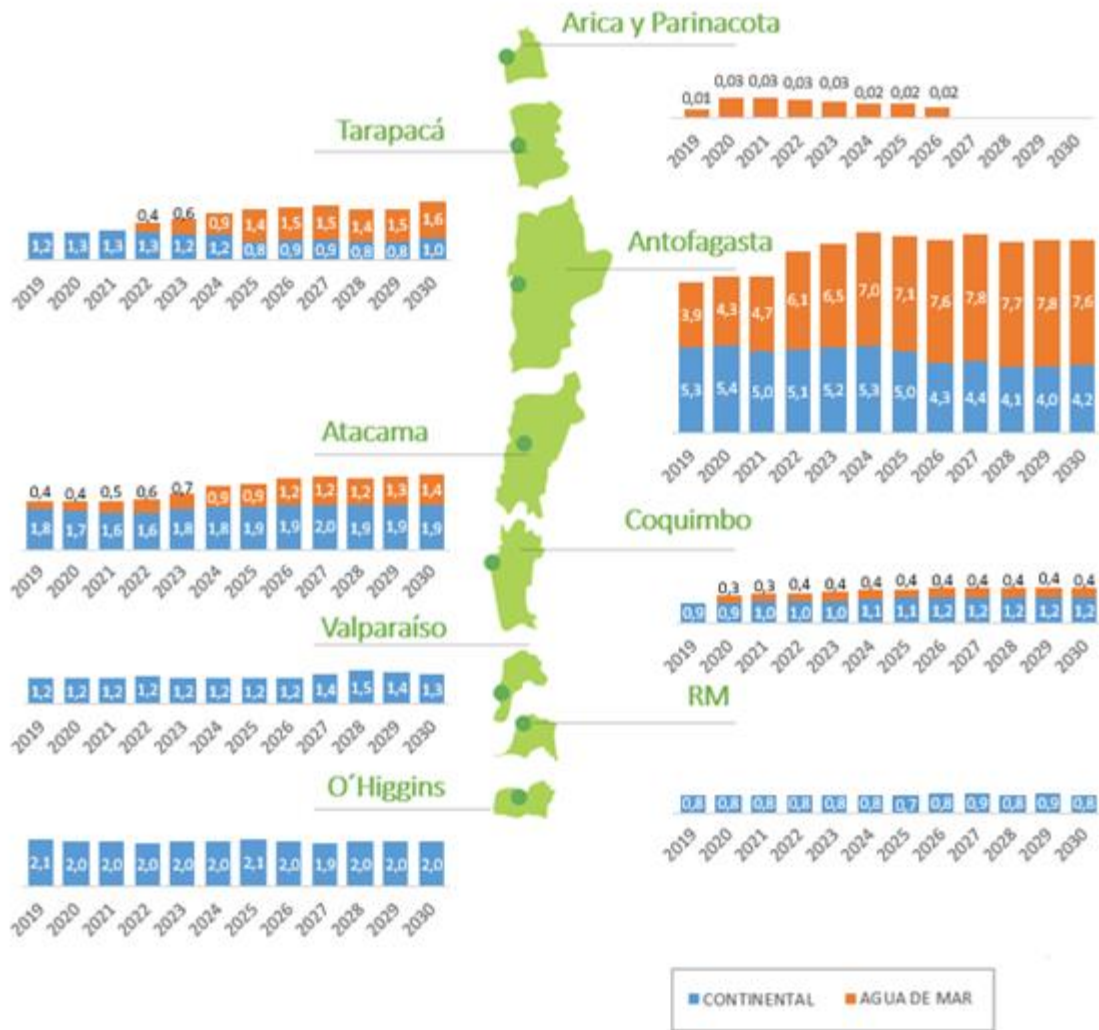
Al 2030 el consumo de agua de mar aumentaría un 156% respecto al 2019. Al 2030 se espera que el agua de mar represente un 47% del agua requerida por la minería del cobre a nivel nacional, como se observa en la figura 6.



2.3 Consumo de agua por región

A nivel nacional la minería representa un 3% de los usos consuntivos del agua², pero sus actividades muchas veces se ubican en las zonas secas o cuencas donde se encuentran las nacientes de las aguas. Por su ubicación en la zona centro y norte del país su incidencia regional y local puede ser mayor que la reflejada a escala nacional, es por ello que se analiza la situación a nivel regional.

Figura 7: Proyección de consumo de agua en la minería del cobre por región, periodo 2019-2030



Fuente: Elaboración Cochilco

² <http://www.dga.cl/DGADocumentos/Atlas2016parte4-17marzo2016b.pdf>



Desde el punto de vista del agua continental, vemos que todas las regiones mantienen una tendencia estable para la próxima década, sin embargo la región de Antofagasta presenta una disminución para los próximos años, ya que se cambiaría por el uso de agua de mar.

En la región de Atacama y Coquimbo, y en menor proporción la región de Tarapacá, se observa la introducción en alza del uso de agua de mar.

A nivel porcentual se espera que el uso de agua de mar a nivel regional para el 2030 sea de un 14% para la región de Tarapacá, un 69% para la región de Antofagasta, un 13% para Atacama y de un 4% para la región de Coquimbo.

En el caso de Antofagasta, las operaciones que actualmente utilizan agua de mar son Escondida, Centinela, Antucoya, Michilla (operativa desde febrero de 2019), Mantos de la Luna, Las Cenizas Taltal, planta J.A. Moreno (ENAMI) y Sierra Gorda. Por otra parte existen proyectos que planifican el uso de este recurso, entre los que se encuentran una posible nueva ampliación de la planta desalinizadora de Escondida, actualización de Esperanza y su posterior extensiones de red para abastecer el proyecto Encuentro, planta Distrito Norte de Codelco, Concentradora El Abra Project y Spence Growth Project, en proceso de puesta en marcha durante 2020.

En el caso de Tarapacá, el diseño del proyecto Quebrada Blanca Hipógeno, o Fase 2, considera el uso de agua de mar desalinizada para su operación. Ésta será enviada por bombeo a la alta cordillera a través de un acueducto, además, considera mecanismos de reutilización de agua, de manera de hacer su uso más eficiente. Del mismo modo el proyecto Collahuasi SxEw (continuidad) proyecta el uso de agua de mar y luego el proyecto de desarrollo de infraestructura y mejoramiento de capacidad productiva (Collahuasi 210 ktpd). Según detalló la compañía, el sistema será habilitado en dos fases para suplir caudales máximos de 525 litros por segundo y 1.050 litros por segundo, en el cuarto y octavo año del proyecto, respectivamente.

Para la región de Atacama los principales proyectos que proponen el uso de agua de mar son la actual planta de Mantoverde y su futura expansión para el proyecto Desarrollo Mantoverde, Candelaria y su expansión Candelaria 2030, actualmente operativa, Santo Domingo de Capstone, el proyecto Diego de Almagro, Nueva Unión con sus fases 1, 2 y 3, y el proyecto Productora.

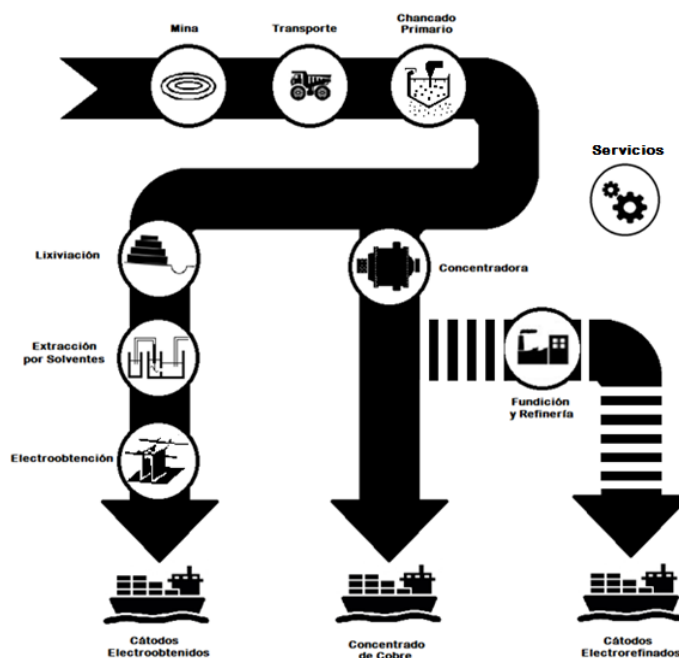
En referencia a la región de Coquimbo, el uso de agua de mar está dado principalmente por el desarrollo de la ampliación de Los Pelambres, en el marco del proyecto INCO. La planta desalinizadora tendrá una capacidad de producción de 400 l/s de agua desalada de calidad industrial. Proyectándose su uso como respaldo en períodos de sequía. A esto se suma el proyecto de Andes Iron, Dominga, el cual también considera el uso de agua de mar para el procesamiento.



2.4 Consumo de agua según tipo de proceso

La utilización de agua en el proceso minero es descrita brevemente en la siguiente figura. Para la estructuración de la información, se han considerado los distintos procesos involucrados en la producción de cobre en el país. Cada uno de estos puntos representa un centro de consumo de agua, unos más intensivos que otros, pero que a fin de cuentas requieren del recurso hídrico para realizar su tarea.

Figura 8: Diagrama general de procesos de la minería del cobre



En el caso del área mina este incluye la mina, ya sea a cielo abierto o subterránea y el transporte del material hasta el chancado primario. En esta área el agua es utilizada principalmente para la supresión de polvo en caminos, y en la extracción y bombeo desde labores subterráneas.

El área de planta concentradora comprende el procesamiento de minerales, el cual representa el mayor consumo de agua con respecto a los volúmenes totales. Esta área involucra la conminución del mineral, luego la flotación, clasificación y espesamiento. Según la distancia entre la concentradora y las instalaciones de filtrado y almacenaje, las aguas residuales pueden o no ser recirculadas al proceso. Una parte importante del agua que se utiliza en la flotación pasa a formar parte de los relaves, que se envían a la etapa de espesamiento para recuperar una parte del agua que contienen.

Por su parte, el área planta hidrometalúrgica considera los procesos de lixiviación en pilas, la extracción por solventes y la electro-obtención para la producción de cátodos. En este proceso los principales consumos de agua resultan como consecuencia de la evaporación de las pilas de



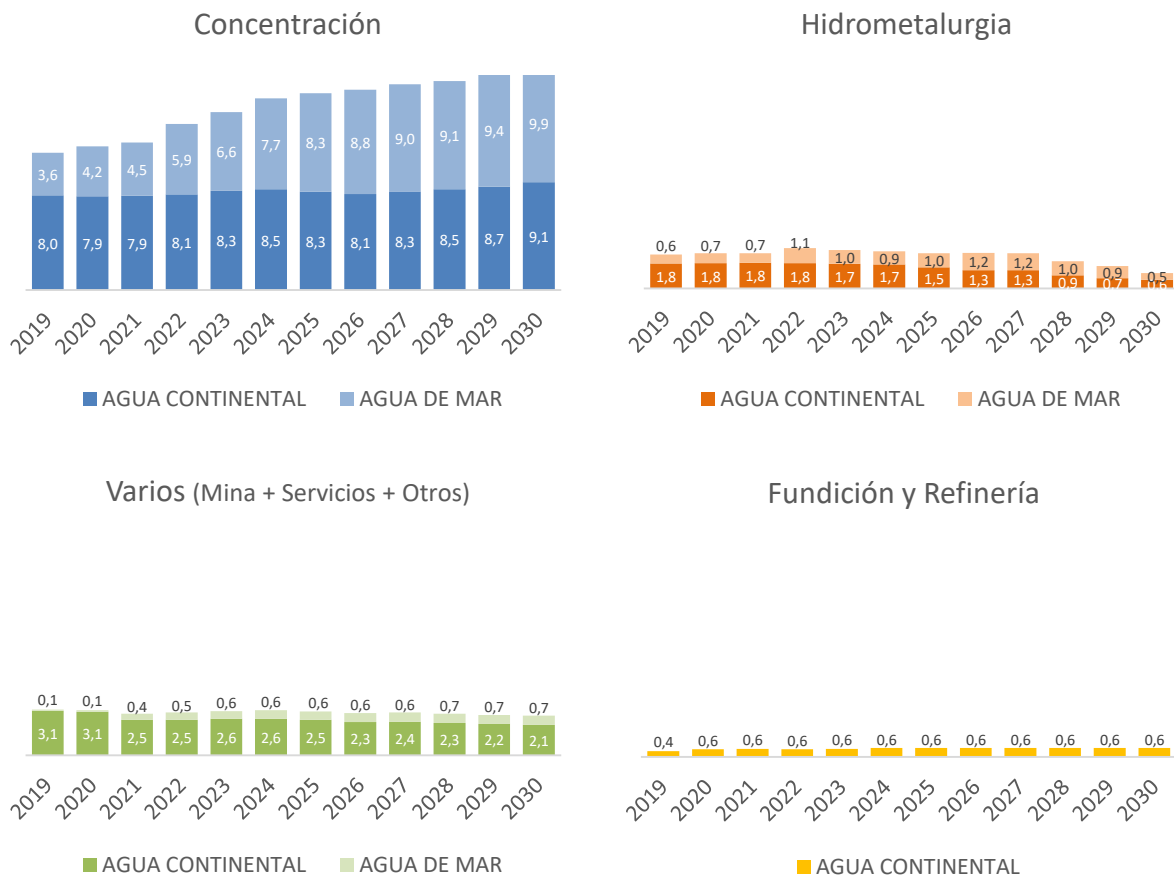
lixiviación donde se vierte una solución ácida, de agua con ácido sulfúrico en la superficie de las pilas. Esta solución se infiltra en la pila disolviendo el cobre contenido en los minerales oxidados.

En cuarto lugar está la fundición y refinería. El concentrado seco se somete a un proceso de pirometalurgia para obtener placas gruesas, de forma de ánodos. Este es comercializado directamente o enviado al proceso de refinación la cual se lleva a cabo en las celdas electrolíticas en una solución de ácido sulfúrico.

Finalmente el área otros o servicios, comprende aquellas actividades con volúmenes de consumo de agua poco significativos frente al total consumido en una operación minera. El principal uso del agua es para bebida, cocción, lavado, riego y baños en los campamentos, las plantas de molibdeno en operaciones que tengan, y otros consumos menores.

Para efectos de este informe el proceso de Mina y Servicios y Otros se agrupara en el ítem Varios.

Figura 9: Consumo de agua en la minería del cobre según tipo de proceso, periodo 2019-2030



Fuente: Elaboración Cochilco



Al analizar la variación de la demanda de agua continental según el proceso de producción, vemos que los concentrados demandan gran parte del agua en la minería del cobre, debido tanto a la proyección de producción de concentrados por el natural agotamiento de los recursos oxidados y su reemplazo por los recursos sulfurados, como a lo intensivo en consumo de agua que es la concentradora.

Se espera que al 2030 el agua continental para el procesamiento de concentrados alcance el 73%, los cátodos el 5%, el agua en Varios³ el 17% y la Fundición y Refinería el 5%.

Desde el punto de vista del uso de agua de mar, vemos que pasa algo similar, el mayor consumo es para el procesamiento de concentrados, llegando al 90% en el 2030, ya que como se dijo anteriormente es un proceso más intensivo en el uso del recurso, y se espera que en los próximos años aumente considerablemente su participación en la cartera de proyectos.

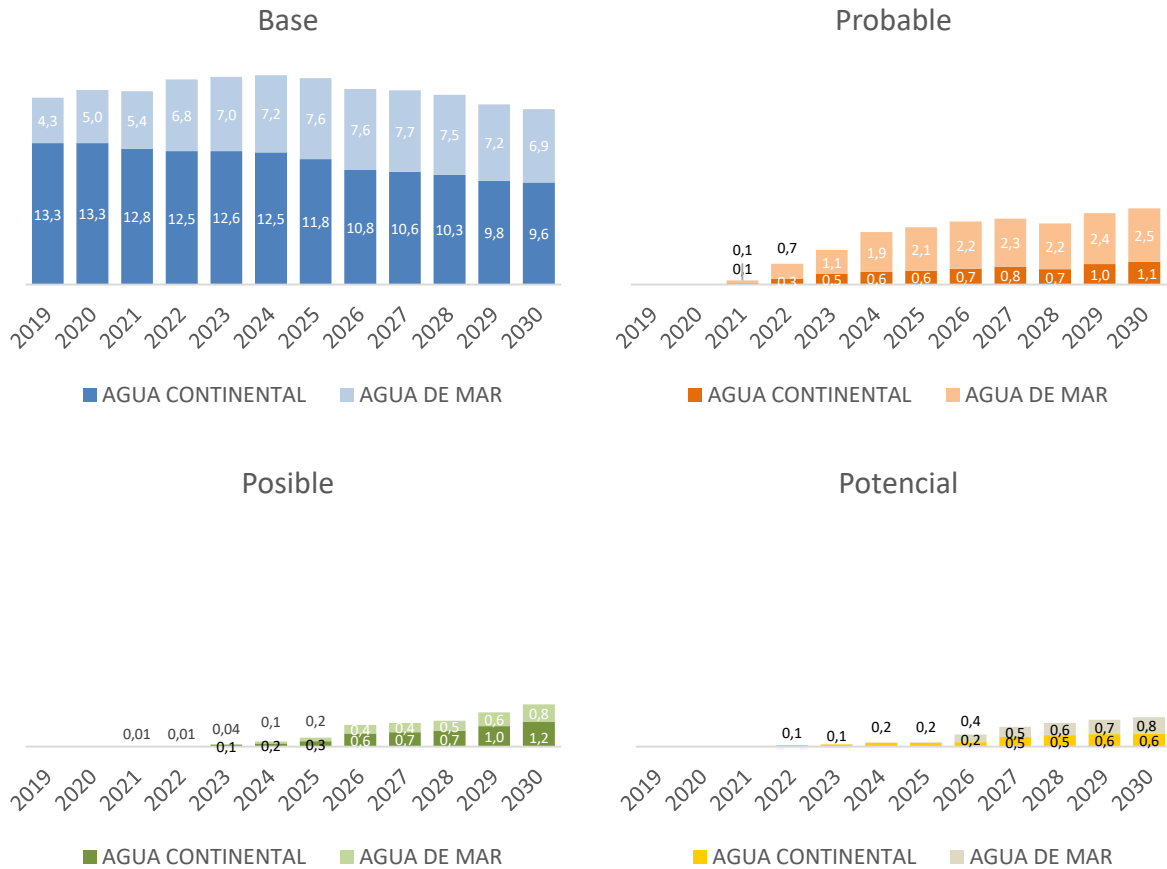
³ Varios agrupa ítem mina, servicios y otros.



2.5 Consumo de agua según condición de proyectos

Se definen cuatro condiciones: base, probable, posible y potencial, asociado a los atributos específicos de tipo de proyecto, a la etapa de avance en que se encuentra, al estado de la tramitación ante el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) y a la fecha estimada de puesta en marcha. Cada atributo tiene una gradualidad que puede asociarse a mayor o menor certeza y la combinación de ellos entrega una percepción de la condicionalidad en que se encuentra para su materialización.

Figura 10: Consumo de agua en la minería del cobre según condición de proyectos, período 2018-2030



Fuente: Elaboración Cochilco



En el caso del agua de origen continental el mayor consumo esperado para la próxima década proviene de proyectos en condición base, es decir proyectos en operación o en ejecución, por lo que correspondería un consumo esperado con un alto grado de certeza. Se observa que al 2030 cerca del 77% del consumo de agua continental en la minería del cobre está asociada a proyectos en condición base, mientras que el 23% restante tiene mayor incertidumbre.

Para el caso del agua de mar la tendencia es similar, el consumo esperado de agua de mar de las operaciones base aumentó considerablemente por la entrada en operación de la ampliación de la planta desaladora de Escondida EWS el 2018. Para el 2030, más de la mitad del consumo esperado de agua de mar proviene de proyectos en condición base, alcanzando el 63%, mientras el 37% restante está asociado a proyectos en condición probable (23%), posible (8%) o potencial (7%), otorgando mayor incertidumbre a su fecha de materialización.

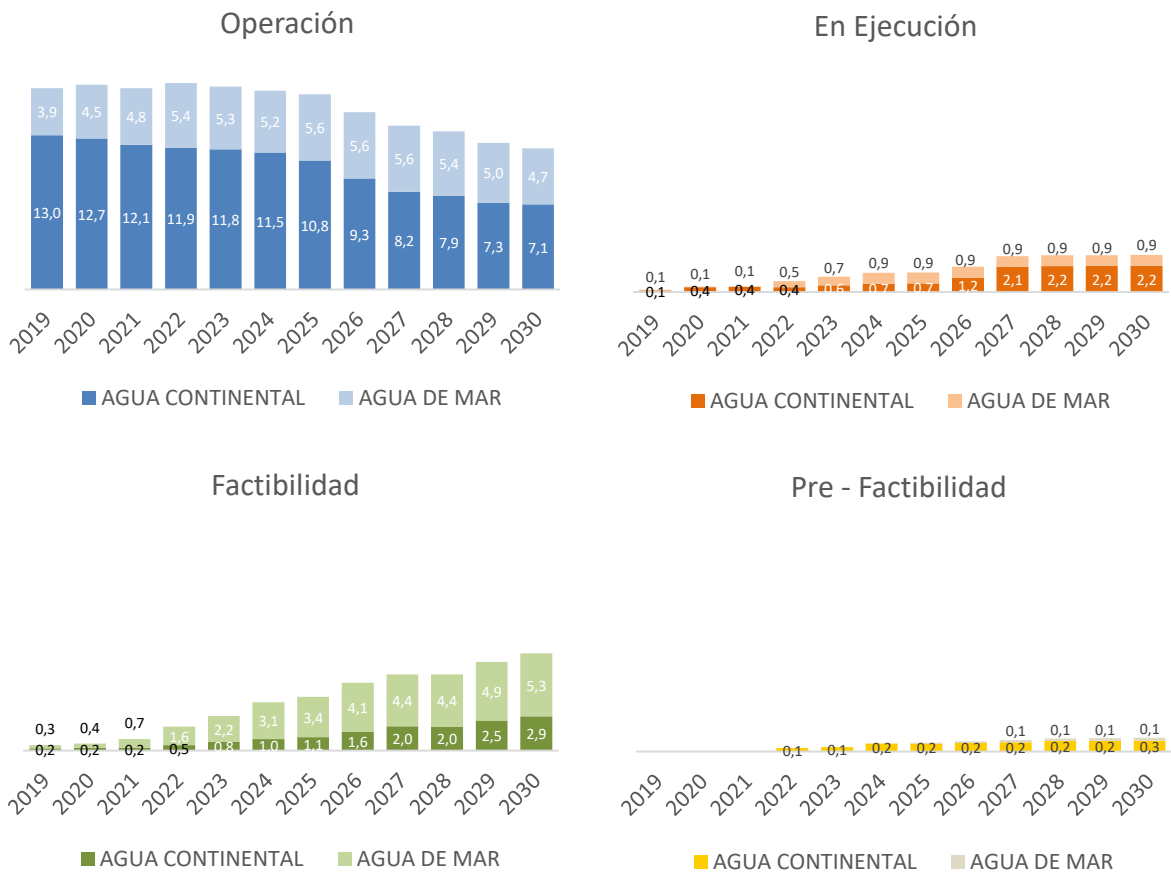
La principal característica está en que los proyectos de agua de mar han disminuido su grado de incertidumbre, ya que estos están relacionados a aquellas iniciativas con mayor probabilidad de materialización y de cumplimiento de las fechas propuestas.



2.6 Consumo de agua según etapa de desarrollo

Para analizar la demanda esperada de agua fresca en la minería del cobre según el estado de avance de los proyectos en el catastro de inversiones, se definieron cuatro etapas de desarrollo; pre factibilidad, factibilidad, en ejecución y operación. El avance de un proyecto se puede ver afectado por algún tipo de suspensión sea por situaciones internas o externas a la voluntad de la compañía. Al estar suspendido el proyecto se detiene en su avance y en algunos casos debería volver al estado anterior para rehacer estudios y así resolver las interrogantes planteadas interna o externamente.

Figura 11: Consumo de agua en la minería del cobre según etapa de desarrollo, periodo 2019-2030



Fuente: Elaboración Cochilco



La prefactibilidad corresponde a la etapa de generación y selección de alternativas de proyectos, también conocida como ingeniería conceptual. La factibilidad corresponde a la etapa de desarrollo de la alternativa seleccionada o ingeniería básica. Los proyectos en ejecución son aquellos que se encuentran en construcción, montaje y puesta en marcha del nuevo activo. Finalmente las operaciones son las actualmente en producción.

Al analizar el consumo de agua según la etapa de desarrollo vemos que la mayor cantidad de agua total está en las operaciones, representando el 51% al 2030, donde se aprecia una tendencia a la baja en el consumo de agua continental y una tendencia estable en el consumo de agua de mar. Por otra parte los proyectos en ejecución, representan un aumento en el consumo de agua total cercano al 13% al 2030. Aquellos que están en etapa de factibilidad, con un menor grado de certidumbre representan un 35% del agua total al 2030, donde destaca el agua de mar y finalmente los proyectos en etapa de pre factibilidad, sujetos a una menor probabilidad de materialización, representan el 1,4% del agua estimada para el 2030.

Desde el punto de vista del comportamiento de la proyección de agua de mar vemos que los proyectos que actualmente se encuentran en etapa de factibilidad de su ingeniería representarían cerca de un 48% del agua de mar al año 2030. Es así como esta situación fortalece la tesis planteada en el subcapítulo anterior de que los proyectos de agua de mar han aumentado su nivel de certidumbre.



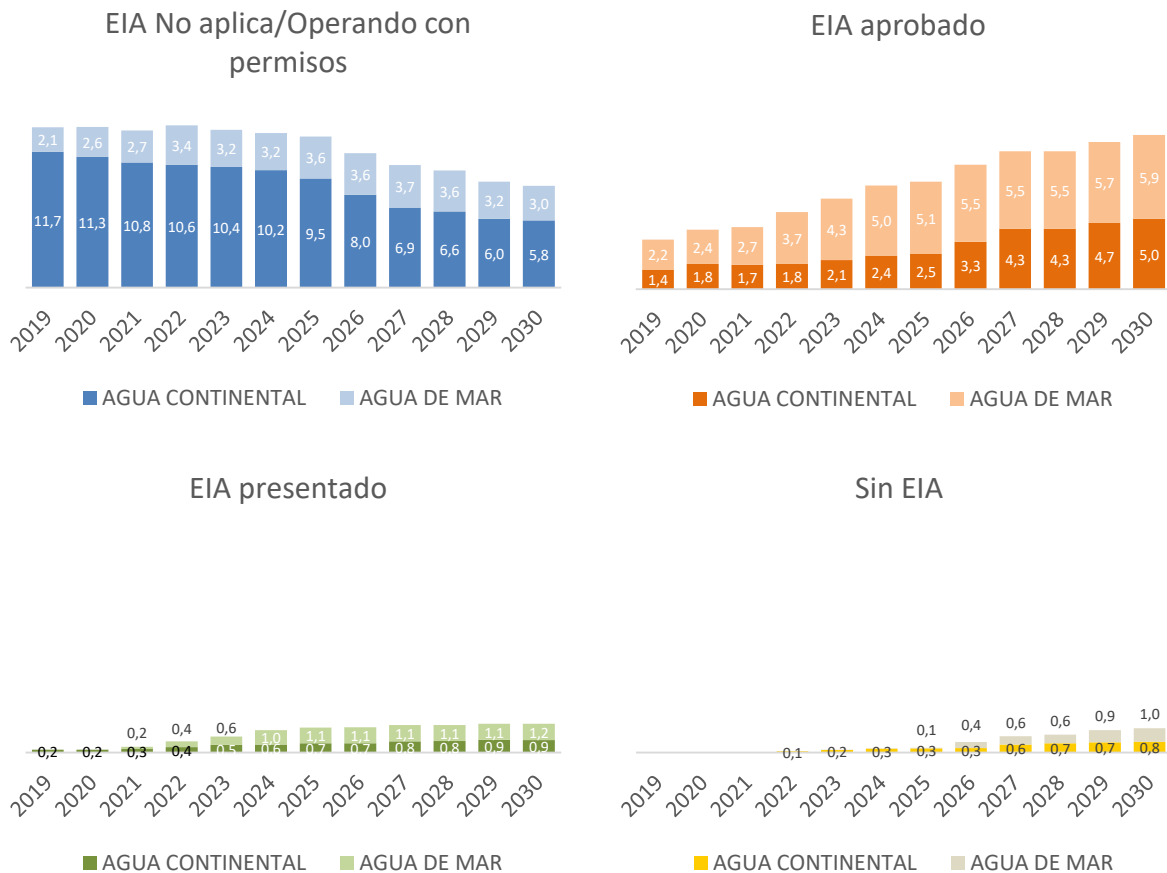
2.7 Consumo de agua según estado de los permisos ambientales

Todos los proyectos deben contar con la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) aprobada, luego de un exhaustivo proceso técnico-administrativo que incluye participación ciudadana, al que se somete la declaración o el estudio de evaluación ambiental que corresponda.

Por ello se distinguen tres estados de mayor a menor seguridad:

- EIA o DIA aprobada
- EIA o DIA presentado
- Sin EIA o DIA

Figura 12: Consumo de agua en la minería del cobre según estado de los permisos ambientales, periodo 2019-2030



Fuente: Elaboración Cochilco



La mayor cantidad de agua se encuentra en proyectos que los estudios de impacto ambiental no aplican, pues en su mayoría son operaciones donde los estudios ya han sido aprobados con anterioridad. Luego le siguen, en cantidad, el agua en proyectos con EIA aprobados, estos son en general proyectos nuevos en ejecución y proyectos de reposición o ampliación de proyectos ya existentes. Siguiendo la línea se encuentran los proyectos sin EIA presentado, estos son aquellos que tienen un bajo nivel de certidumbre y por lo tanto aún pueden variar significativamente las fechas, caudales, métodos, etc., y por último están aquellos proyectos con EIA presentado pero sin respuesta aun, estos proyectos también tienen bajo grado de certidumbre pues aún pueden variar sus parámetros.

La evolución del consumo esperado de agua según el estado de los permisos ambientales de los proyectos indica una tendencia similar que el caso anterior, donde los proyectos actualmente en operación o con EIA aprobados corresponderían a un 84% del consumo de agua total al 2030, mientras que el 16% restantes está asociado a proyectos que aún recién han presentado o no tienen los permisos ambientales, lo que da menor grado de certeza al cumplimiento de las fechas estipuladas.



Capítulo 3:

Comentarios finales



Capítulo 3 Comentarios finales

De acuerdo a los valores esperados obtenidos a través de una simulación de Montecarlo, se observa que de manera general, la estimación de consumo total de agua de origen continental esperada al 2030 alcanza los 12,5 m³/s, lo que representa una caída de un 6% respecto al consumo esperado para el 2019. Para el caso del agua de mar se espera que alcance el 47% del agua total requerida en la industria minera del cobre, pues son cada vez más las mineras que se suman a la construcción de sus propias desaladoras o agua de mar directa para enfrentar las limitaciones de agua, llegando a los 11 m³/s el 2030.

Con respecto a la demanda futura por región, vemos que la minería absorbe un pequeño porcentaje del consumo consuntivo total del agua en el país, pero sus actividades muchas veces se ubican en las zonas más secas o en cuencas donde se encuentran las nacientes de las aguas. Ello indica que su incidencia regional y local es mucho mayor que la reflejada a escala nacional. Desde el punto de vista del agua continental, se observa una disminución en la participación de Antofagasta y lo contrario en el caso de Atacama, mientras que las otras regiones se mantienen estables. Al analizar el consumo de agua de mar al 2030 por región hay una fuerte participación de la región de Antofagasta (69%), seguido por la región de Tarapacá (14%), luego Atacama (13%) y en menor proporción la región de Coquimbo (4%).

Con respecto a la demanda esperada por proceso, tenemos una situación en que se estima que la producción esperada de cobre fino en cátodos SxEw disminuya hacia el 2030, por el contrario, se espera que la producción de cobre fino en concentrados aumente considerablemente. En este escenario se espera que al 2030 el agua continental para el procesamiento de concentrados alcance el 73%, los cátodos el 5%, el agua en varios (mina, servicios y otros) el 17% y finalmente, Fundición y Refinería el 5%. En el caso de agua de mar se espera que más de un 90% del agua proveniente de los océanos sea destinada al tratamiento de sulfuros para la producción de concentrados al año 2030.

En lo que se refiere a la demanda de agua continental esperada según condición de los proyectos, el mayor consumo esperado para la próxima década proviene de proyectos en condición base (77%), es decir proyectos en operación o en ejecución, y por tanto con un alto grado de certeza. Para el 2030, más de la mitad del consumo esperado de agua de mar proviene de proyectos en condición base, alcanzando el 63%, mientras el 37% restante está asociado a proyectos en condición probable (23%), posible (8%) o potencial (7%), otorgando mayor incertidumbre a su fecha de materialización.

Con respecto a la etapa de desarrollo, los proyectos en operación representarían un 57% del consumo de agua continental en el 2030, en ejecución un 18%, mientras que los proyectos en menores etapas de ingeniería (factibilidad y pre-factibilidad) explicarían un 25% del consumo esperado al 2030. En el caso del agua de mar los proyectos en estado de operación representarán el 43% y los proyectos en ejecución un 18% del consumo de agua de mar al 2030, mientras que el 49% restante corresponde a los proyectos en factibilidad y pre factibilidad sujetos a cambios en las decisiones operacionales.



Anexos



Anexos

Anexo 1 Condiciones de materialización de un proyecto

Condición	Tipo proyecto	Etapas de avance	Trámite SEA	Puesta en marcha
BASE	Cualquiera	Ejecución	RCA aprobada	En el período
PROBABLE	Cualquiera	Ejecución suspendida	RCA aprobada o en reclamación judicial	En el período
	Cualquiera Reposición o Expansión	Factibilidad Factibilidad	RCA aprobada EIA o DIA en trámite	En el período En el período
POSIBLE	Reposición o Expansión	Factibilidad suspendida	EIA o DIA en trámite	En el período
	Reposición o Expansión	Factibilidad	EIA o DIA no presentada	En el período
	Nuevo	Factibilidad	EIA o DIA en trámite o no presentada	En el período
	Cualquiera Reposición o Expansión	Factibilidad Factibilidad	RCA aprobada EIA o DIA en trámite o no presentada	Fuera del período Fuera del período
POTENCIAL	Cualquiera	Factibilidad suspendida	Cualquiera	Fuera del período
	Cualquiera	Prefactibilidad	Cualquiera	Cualquiera

Fuente: Elaboración Cochilco

Anexo 2 Etapas de desarrollo de un proyecto

- **Operación:** Proyectos que se encuentran actualmente operando
- **En ejecución:** Cuentan con la aprobación de la inversión y de los permisos correspondientes para su desarrollo. Ya se encuentran en alguna de las fases de ingeniería de detalle y de construcción hasta el inicio de la puesta en marcha.
- **En estudio de factibilidad:** Aquellos que ya han iniciado los estudios de factibilidad y de evaluación ambiental (EIA o DIA) hasta que los hayan terminado, pero sin haber tomado aún la decisión final aprobatoria de la inversión.
- **En estudio de prefactibilidad:** Aquellos que se encuentran en la fase inicial de estudios de prefactibilidad hasta que se tome la decisión de continuar a la etapa siguiente.

Fuente: Elaboración Cochilco



Anexo 3 Tabla consumo esperado total

lts/seg	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Consumo total	17.599	18.310	18.406	20.384	21.385	22.589	22.786	22.982	23.462	23.082	23.212	23.475

Fuente: Elaboración Cochilco

Anexo 4 Tabla consumo esperado según fuente de origen

lts/seg	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Agua Continental	13.299	13.330	12.830	12.896	13.229	13.383	12.903	12.361	12.580	12.333	12.276	12.466
Agua de Mar	4.300	4.980	5.576	7.488	8.156	9.207	9.882	10.621	10.882	10.749	10.936	11.008

Fuente: Elaboración Cochilco

Anexo 5 Tabla consumo esperado por región

lts/seg	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
CONTINENTAL												
Arica y Parinacota	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tarapacá	1.223	1.275	1.292	1.264	1.193	1.156	843	901	907	797	822	995
Antofagasta	5.284	5.424	4.973	5.094	5.198	5.318	5.009	4.319	4.374	4.067	4.030	4.203
Atacama	1.778	1.732	1.617	1.587	1.755	1.829	1.882	1.931	1.969	1.912	1.937	1.916
Coquimbo	932	902	962	986	1.042	1.120	1.148	1.187	1.197	1.203	1.194	1.208
Valparaíso	1.159	1.176	1.203	1.221	1.208	1.183	1.203	1.196	1.375	1.544	1.388	1.326
Metropolitana	813	796	792	781	787	787	748	829	858	805	887	805
O'Higgins	2.109	2.025	1.991	1.963	2.046	1.991	2.070	1.998	1.899	2.005	2.017	2.013



lts/seg	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
AGUA DE MAR												
Arica y Parinacota	13	32	32	30	26	24	21	17	0	0	0	0
Tarapacá	0	0	0	410	625	890	1.418	1.458	1.475	1.431	1.454	1.580
Antofagasta	3.925	4.255	4.682	6.064	6.451	6.973	7.104	7.587	7.805	7.681	7.782	7.629
Atacama	362	374	517	631	676	935	950	1.174	1.212	1.244	1.313	1.405
Coquimbo	0	319	346	353	378	385	390	385	391	393	387	394
Valparaíso	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Metropolitana	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O'Higgins	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración Cochilco

Anexo 6 Tabla consumo esperado según tipo de proceso

lts/seg	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Concentración												
Agua Continental	7.969	7.903	7.944	8.052	8.344	8.483	8.275	8.088	8.293	8.500	8.718	9.074
Agua de Mar	3.590	4.188	4.464	5.917	6.632	7.660	8.290	8.767	9.025	9.082	9.431	9.870
LX-SX-EW												
Agua Continental	1.775	1.796	1.800	1.782	1.749	1.686	1.498	1.291	1.280	921	720	613
Agua de Mar	620	688	689	1.060	967	941	989	1.228	1.210	1.012	853	477
Varios												
Agua Continental	3.136	3.073	2.510	2.505	2.560	2.579	2.494	2.349	2.375	2.278	2.201	2.143
Agua de Mar	90	103	424	512	557	606	604	626	647	655	651	662
F&R												
Agua Continental	418	558	576	557	576	634	636	633	632	634	637	637
Agua de Mar	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fuente: Elaboración Cochilco



Anexo 7 Tabla consumo esperado según condición

lts/seg	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Base												
Agua Continental	13.296	13.323	12.768	12.545	12.556	12.450	11.811	10.788	10.594	10.330	9.752	9.614
Agua de Mar	4.300	4.980	5.426	6.767	6.991	7.241	7.628	7.622	7.693	7.538	7.213	6.891
Probable												
Agua Continental	3	7	57	260	487	591	637	739	840	720	958	1.065
Agua de Mar	0	0	139	707	1.130	1.878	2.058	2.231	2.266	2.154	2.399	2.516
Posible												
Agua Continental	0	0	5	8	84	156	267	624	686	744	968	1.165
Agua de Mar	0	0	11	14	36	84	165	402	440	481	648	828
Potencial												
Agua Continental	0	0	0	82	103	185	188	210	460	539	598	622
Agua de Mar	0	0	11	14	36	84	165	402	440	481	648	828

Fuente: Elaboración Cochilco

Anexo 8 Tabla consumo esperado según etapa de desarrollo

lts/seg	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Operación												
Agua Continental	12.984	12.697	12.163	11.939	11.790	11.522	10.838	9.332	8.208	7.875	7.283	7.146
Agua de Mar	3.949	4.549	4.770	5.424	5.285	5.191	5.564	5.573	5.554	5.408	5.043	4.705
En Ejecución												
Agua Continental	140	406	427	423	582	705	749	1.231	2.122	2.192	2.204	2.204
Agua de Mar	65	65	78	496	716	923	914	904	899	906	905	918
Factibilidad												
Agua Continental	175	227	240	452	754	970	1.128	1.597	2.034	2.019	2.538	2.863
Agua de Mar	286	366	729	1.568	2.155	3.093	3.381	4.103	4.372	4.376	4.926	5.318
Pre Factibilidad												
Agua Continental	0	0	0	82	103	185	188	201	216	248	249	253
Agua de Mar	0	0	0	0	0	0	25	40	57	59	62	67

Fuente: Elaboración Cochilco



Anexo 9 Tabla consumo esperado según estado de los permisos ambientales

lts/seg	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Operando con permisos												
Agua Continental	11.741	11.325	10.840	10.624	10.442	10.168	9.457	8.027	6.928	6.579	5.969	5.827
Agua de Mar	2.146	2.578	2.748	3.409	3.211	3.217	3.614	3.611	3.688	3.553	3.204	2.985
EIA presentado												
Agua Continental	197	207	257	389	535	567	653	664	797	816	895	888
Agua de Mar	0	0	158	414	591	1.008	1.115	1.130	1.144	1.129	1.141	1.154
EIA aprobado												
Agua Continental	1.361	1.798	1.729	1.793	2.065	2.367	2.499	3.348	4.275	4.282	4.671	4.981
Agua de Mar	2.154	2.402	2.670	3.665	4.330	4.953	5.093	5.452	5.478	5.453	5.733	5.909
Sin EIA												
Agua Continental	0	0	5	90	187	280	293	322	580	656	741	769
Agua de Mar	0	0	0	0	23	30	61	429	573	614	858	960

Fuente: Elaboración Cochilco



Este trabajo fue elaborado en la
Dirección de Estudios y Políticas Públicas por

Camila Montes

Analista de Estrategias y Políticas Públicas

Victor Garay

Director de Estudios y Políticas Públicas (S)

Diciembre / 2019

